

II-257 - AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO BALANÇO DE MASSA EM TERMOS DE DQO PARA REATORES ANAERÓBIOS DO TIPO UASB MODIFICADO TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO EM ESCALA REAL

Ana Caroline de Paula ⁽¹⁾

Engenheira Química pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR). Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Bolsista do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT ETEs Sustentáveis).

Orlando Antonio Duarte Hernández

Engenheiro Industrial pela Universidade Nacional Experimental do Tachira (UNET). Mestre em Gestão e Auditorias Ambientais pela Universidade Europea Miguel de Cervantes (UEMC). Professor da Universidade Nacional Experimental do Tachira. Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Miguel Mansur Aisse

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Doutor em Engenharia Civil - Engenharia Hidráulica pela Universidade de São Paulo. Professor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA).

Gustavo Rafael Collere Possetti

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), e Engenheiro Eletricista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Ciências e Doutor em Ciências pela UTFPR. Gerente da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Professor do Programa de Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade do Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE-FGV).

Endereço⁽¹⁾: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Campus Centro Politécnico, Setor de Tecnologia, Bloco V, Jardim das Américas – Curitiba/PR, CEP: 81.531-990, Telefone: +55 (41) 3361-3144 / +55 (41) 99721-7793, e-mail: aanacarolinepaulaa@hotmail.com.

RESUMO

A tecnologia anaeróbia, notadamente os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (reatores UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), é amplamente utilizada no Brasil para tratamento de esgoto doméstico, tendo em vista as favoráveis condições climáticas e a baixa cobertura sanitária que este país apresenta. Nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) que fazem uso de reatores anaeróbios do tipo UASB, a eficiência usualmente é determinada em termos de remoção de matéria orgânica, e o parâmetro global utilizado é a Demanda Química de Oxigênio (DQO). O balanço de massa em termos de DQO é um instrumento de gestão que pode ser utilizado nas ETEs, uma vez que auxilia no esclarecimento do fluxo de matéria orgânica que percorre o reator, determinando as parcelas de saída, o desempenho do processo, a validação de métodos e parâmetros da operação, dentre outros. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo realizar uma avaliação preliminar do balanço de massa em termos de DQO, para reatores anaeróbios do tipo UASB modificado, tratando esgoto doméstico, em escala real. O experimento foi realizado no mês de agosto/2018 em uma ETE de médio porte, localizada na cidade de Curitiba-PR, a qual conta com uma vazão contribuinte média de aproximadamente 320 L/s. Os resultados do balanço de massa em termos de DQO demonstraram que as parcelas de DQO convertida em biomassa e perdida com o efluente (29,76%) e DQO não convertida e perdida solúvel com o efluente (26,50%), foram as que mais se destacaram. As parcelas DQO convertida em biomassa e retida no sistema (1,12 %) e DQO utilizada para redução do sulfato (4,29%) apresentaram menor influência.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), Mensuração em tempo real, Metano dissolvido.

INTRODUÇÃO

No Brasil, por conta das favoráveis condições climáticas que o país apresenta e da baixa cobertura sanitária, os reatores anaeróbios, notadamente os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), são amplamente utilizados para tratamento do esgoto sanitário.

Usualmente, nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) que empregam a tecnologia anaeróbia, o parâmetro global utilizado como indicador de matéria orgânica é a Demanda Química de Oxigênio (DQO). O balanço de massa em termos de DQO é um instrumento altamente efetivo para contribuir com a gestão das ETEs, uma vez que pode auxiliar no esclarecimento do fluxo de matéria orgânica que percorre o reator, determinando as parcelas de saída, o desempenho do processo, a validação de métodos e parâmetros da operação, dentre outros (SEGHEZZO, 2004; SOUZA, 2010).

Usualmente, em reatores anaeróbios do tipo UASB, do total de matéria orgânica que entra no sistema, 50 a 80% é convertida em biogás, 5 a 15% é convertida em novas células microbianas (biomassa) e 10 a 30% não convertida em biogás ou em biomassa, correspondente ao material não degradado e que, portanto, deixa o sistema junto com o esgoto efluente (CHERNICHARO, 2016).

Além disso, todos os compostos gasosos presentes no biogás, em maior ou menor concentração, solubilizam-se no líquido, e este fato dificulta sua captura normal e condução para o destino correto (SOUZA, 2010). Estudos realizados por van Haandel e Lettinga (1994) e Noyola, Morgan-Sagastume e López-Hernández (2006) reportaram que parcelas significativas dos gases formados durante o processo de tratamento do esgoto tendem a permanecer dissolvido no líquido e, assim, sair com o efluente tratado ou encontrar outra rota de desprendimento.

Isto posto, é fundamental considerar no balanço de massa todas as parcelas de conversão da matéria orgânica no sistema: as parcelas convertidas em metano, tanto aquela presente no biogás, quanto a que encontra-se dissolvida no meio líquido ou com o gás residual (perdas); a parcela devido à redução de sulfatos a sulfetos; a parcela que é convertida em biomassa, vindo a constituir o lodo, podendo ser subdividida no lodo que é retido no processo e no lodo que deixa o reator juntamente com o efluente; e, a parcela que sai solubilizada no efluente, isto é, aquela que não se converte (SOUZA, 2010; LOBATO, 2011).

Souza (2010) desenvolveu balanços de massa em termos de DQO para dois reatores anaeróbios do tipo UASB, sendo um em escala piloto (340 L) e um em escala de demonstração (14 m³), avaliando todas as parcelas possivelmente mensuráveis de conversão da matéria orgânica durante o tratamento anaeróbio do esgoto. Os balanços indicaram as seguintes faixas para cada parcela: efluente solúvel (14–24%), lodo efluente (10–20%), lodo retido (8–10%), CH₄ biogás (24–30%), CH₄ dissolvido (16–18%) e sulfato redução (4–5%).

Lobato (2011), com base nos estudos de Souza (2010), propôs um modelo para realização do balanço de massa em termos de DQO, também contemplando todas as parcelas de conversão. A autora identificou valores para três cenários (pior, típico e melhor). Para os três cenários, de toda DQO afluente ao sistema, 30% a 40% saiu solubilizada no efluente (30% para a pior situação e 40% para a melhor). A conversão em biomassa foi responsável por 13 a 15% da DQO aplicada ao sistema. Para redução do sulfato no afluente, obtiveram-se percentuais de utilização de DQO variando entre 3 e 7%. Para as simulações de perda de metano com o efluente, 11 a 17% da carga de DQO aplicada foi convertida em metano e perdida dissolvida no efluente. Para a parcela de DQO aplicada convertida em metano e presente no biogás, o percentual variou de 19 a 39% (LOBATO, 2011).

Isto posto, nota-se que o balanço de massa em termos de DQO é um instrumento de elevada significância, que pode claramente ser utilizado no gerenciamento das ETEs. Contudo, ainda existem poucos trabalhos relativos ao tema, sobretudo em reatores anaeróbios do tipo UASB tratando esgoto doméstico em escala real.

OBJETIVO

Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo realizar uma avaliação preliminar do balanço de massa em termos de DQO, para reatores anaeróbios do tipo UASB modificado, tratando esgoto doméstico, em escala real.

MATERIAS E MÉTODOS

Área de estudo

O experimento foi realizado no mês de agosto de 2018, em uma ETE de médio porte (Figura 1), localizada no município de Curitiba, estado do Paraná, a qual conta com uma vazão média contribuinte de aproximadamente 320 L/s. O sistema de tratamento da ETE, projetado para 420 L/s, é composto por gradeamento manual de 10 e 5 cm, respectivamente, gradeamento mecanizado de 6 mm, desarenador, calha Parshall, 6 reatores anaeróbios do tipo UASB modificado e duas lagoas, sendo uma aerada mecanizada e outra de decantação. Como principais características, os reatores anaeróbios do tipo UASB modificado possuem uma comunicação maior entre o separador trifásico e a área de decantação, e o espaçamento existente permite a saída dos flocos flotados mais finos de lodo (ROSS, 2015).

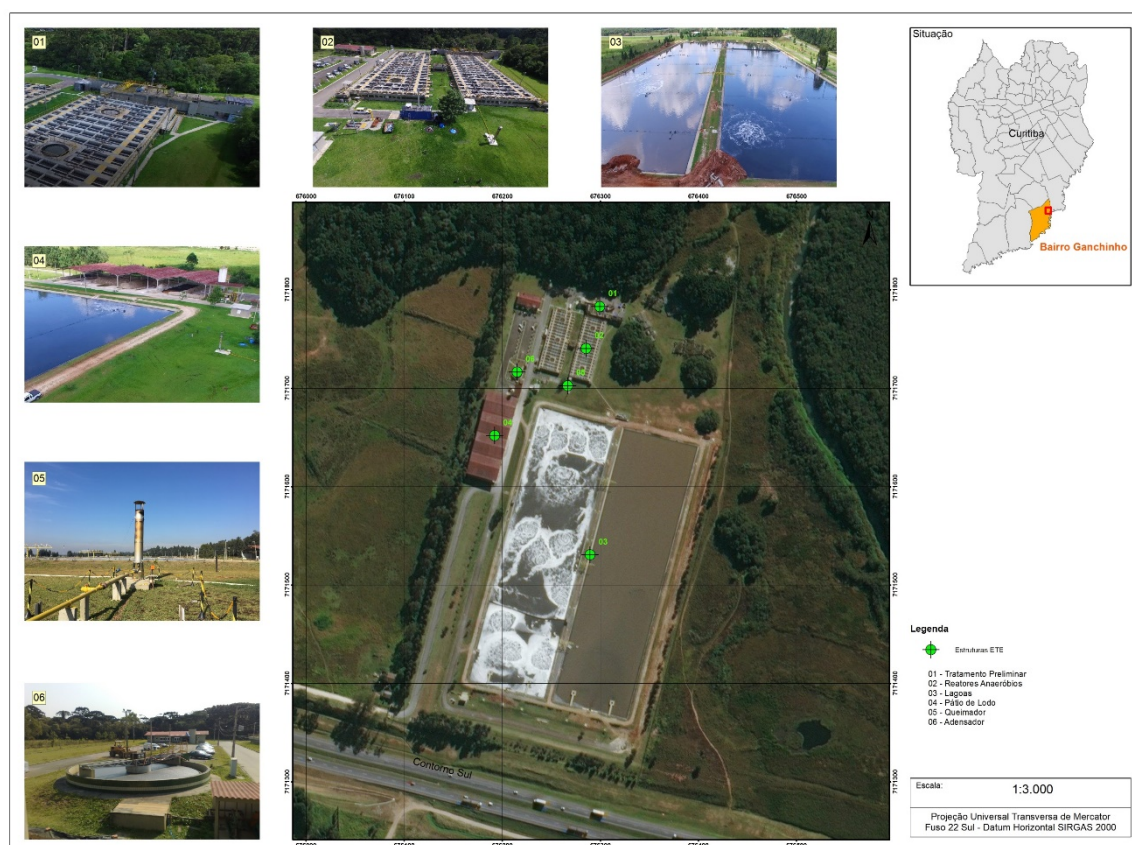


Figura 1. Localização da ETE no contexto regional, bem como suas principais etapas de tratamento

Equacionamento do balanço de massa

As formulações utilizadas para desenvolvimento do balanço de massa em termos de DQO foram estabelecidas por Souza (2010), sendo que alguns fatores foram adaptados de acordo com as características da ETE objeto de estudo. As parcelas mensuradas foram DQO afluente, DQO convertida em metano e presente no biogás, DQO convertida em metano e perda dissolvida no efluente, DQO não convertida e perda com efluente, DQO utilizada pelas bactérias na redução do sulfato, DQO convertida em lodo e retida no sistema e DQO convertida em lodo e perda com o efluente, conforme apresenta a Figura 2.

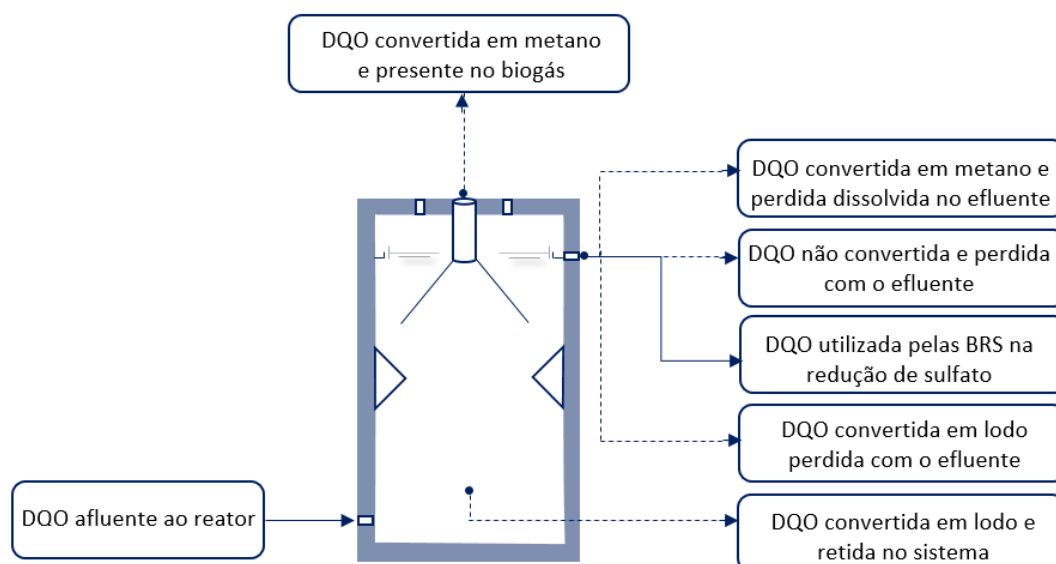


Figura 2. Diagrama esquemático das parcelas de conversão da matéria orgânica calculadas no balanço de massa
Fonte: Souza (2010).

A massa diária de DQO afluente ao reator foi calculada a partir da Equação 1.

$$DQO_{\text{afuente total}} = Q_L \times DQO_{\text{afuente}} \times 0,0864 \quad (1),$$

em que:

$DQO_{\text{afuente total}}$: massa diária de DQO afluente ao reator (kgDQO.d^{-1});

Q_L : vazão de esgoto (L.s^{-1});

DQO_{afuente} : concentração de matéria orgânica afluente ao reator (mg.L^{-1});

0,0864: fator para conversão de unidades.

Para cálculo da massa diária de DQO convertida em metano e presente no biogás, foi empregue a Equação 2.

$$DQO_{\text{CH}_4 \text{ biogás}} = Q_{\text{biogás}} \times \text{CH}_{4 \text{ biogás}} \times 2,276 \times 86,4 \quad (2),$$

em que:

$DQO_{\text{CH}_4 \text{ biogás}}$: massa diária de DQO convertida em metano e presente no biogás (kgDQO.d^{-1});

$Q_{\text{biogás}}$: vazão de biogás (N.L.s^{-1});

$\text{CH}_{4 \text{ biogás}}$: concentração percentual de metano presente no biogás (%);

2,276 gDQO.LCH_4^{-1} a 25 °C e 0,87 atm: coeficiente estequiométrico;

86,4: fator para conversão de unidades.

Considerando a temperatura ambiente de 25 °C e que o experimento e as medições foram realizados no Município de Curitiba/PR, onde a pressão atmosférica é de 0,87 atm, utilizou-se a Equação de Clapeyron para determinar a densidade do metano, obtendo-se o valor de 0,569 g/L. Com a densidade e a relação de conversão de DQO em metano de 4:1, obteve-se o coeficiente estequiométrico de 2,276g DQO.LCH_4^{-1} .

A massa diária de DQO convertida em metano e dissolvida no efluente foi determinada por meio da Equação 3.

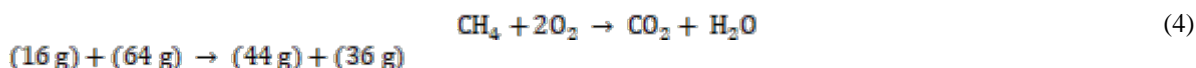
$$DQO_{\text{CH}_4 \text{ dissolvido}} = (Q_L \times \text{CH}_{4 \text{ dissolvido}} \times 4) \times 0,0864 \quad (3),$$

em que:

$DQO_{\text{CH}_4 \text{ dissolvido}}$: massa diária de DQO convertida em metano e dissolvida no efluente (kgDQO.d^{-1});

Q_L : vazão de esgoto ($L.s^{-1}$);
 $CH_{4dissolvido}$: concentração de metano dissolvido no efluente ($mg.L^{-1}$);
 $4\text{ mgDQO}.mgCH_4^{-1}$: coeficiente estequiométrico;
 $0,0864$: fator para conversão de unidades.

O coeficiente estequiométrico adotado foi calculado com base na massa de DQO degradada para produção de metano, sendo que um mol de CH_4 necessita de dois moles de O_2 para sua completa oxidação em CO_2 e H_2O , isto é, cada 16 gramas de CH_4 produzido correspondem à remoção de 64 gramas de O_2 do esgoto (Equação 4).



A massa diária de DQO não convertida e perdida com o efluente foi calculada utilizando-se a Equação 5.

$$DQO_{\text{efluente solúvel}} = Q_L \times DQO_{\text{efluente filtrada}} \times 0,0864 \quad (5),$$

em que:

$DQO_{\text{efluente solúvel}}$: massa diária de DQO efluente solúvel ao reator ($kgDQO.d^{-1}$);
 Q_L : vazão de esgoto ($L.s^{-1}$);
 $DQO_{\text{efluente filtrada}}$: concentração de matéria orgânica efluente filtrada ($mg.L^{-1}$);
 $0,0864$: fator para conversão de unidades.

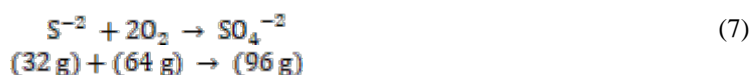
Considerando ainda a utilização da DQO pelas BRS na redução de sulfato, a massa diária de DQO consumida para esse fim foi determinada conforme Equação 6.

$$DQO_{\text{sulfato redução}} = \{Q_L \times [(SO_{41} - SO_{42}) \times (\frac{1}{1,5})]\} \times 0,0864 \quad (6),$$

em que:

$DQO_{\text{sulfato redução}}$: massa de DQO usada pelas BRS na redução de sulfato ($kgDQO.d^{-1}$);
 Q_L : vazão de esgoto ($L.s^{-1}$);
 S_{SO41} : concentração de sulfato afluente ao reator ($mg.L^{-1}$);
 S_{SO42} : concentração de sulfato efluente ao reator ($mg.L^{-1}$);
 $1,0\text{ g DQO}.1,5\text{ g}S_{SO4}^{-1}$: coeficiente estequiométrico;
 $0,0864$: fator para conversão de unidades.

O coeficiente estequiométrico utilizado foi calculado com base na massa de DQO degradada para redução de sulfato, sendo que um mol de S^{-2} necessita de dois moles de O_2 para sua completa oxidação em SO_4^{-2} , ou seja, cada 96 gramas de SO_4^{-2} presente no esgoto correspondem ao consumo de 64 gramas de DQO removida (relação $1,5\text{ }SO_4^{-2}:1,0\text{ DQO}$) (Equação 7).



A Equação 8 foi utilizada para determinar a massa diária de DQO convertida em lodo e retida no sistema.

$$DQO_{\text{lodo retido}} = \left[\frac{(massa_{STVt2} - massa_{STVt1})}{t_2 - t_1} \right] \times 4,60 \quad (8),$$

em que:

$DQO_{\text{lodo retido}}$: massa diária de DQO convertida em lodo e retida no reator ($kgDQO.d^{-1}$);
 $massa_{STVt1}$: massa de sólidos totais voláteis no lodo no tempo 1 ($kg\text{ STV}$);
 $massa_{STVt2}$: massa de sólidos totais voláteis no tempo 2 ($kg\text{ STV}$);
 t_1 : tempo 1 (d);
 t_2 : tempo 2 (d);
 $4,60\text{ gDQO}.gSTV^{-1}$ (coeficiente calculado com base nos dados de DQO e SSV da própria ETE).

A massa diária de DQO convertida em lodo e perdida junto ao efluente foi determinada por meio da Equação 9.

$$DQO_{\text{lodo efluente}} = Q_L \times (DQO_{\text{efluente total}} - DQO_{\text{efluente filtrada}}) \times 0,0864 \quad (9),$$

em que:

$DQO_{\text{lodo efluente}}$: massa diária de DQO convertida em lodo e perdida com o efluente (kgDQO.d⁻¹);

Q_L : vazão de esgoto (L.s⁻¹);

$DQO_{\text{efluente total}}$: concentração matéria orgânica efluente ao reator (mg.L⁻¹);

$DQO_{\text{efluente filtrada}}$: concentração de matéria orgânica efluente filtrada (mg.L⁻¹);

0,0864: fator para conversão de unidades.

Coleta e caracterização do esgoto

Para a amostragem do esgoto afluente e efluente, dos seis reatores anaeróbios, instalou-se na ETE dois amostradores automáticos, um da marca Isco, modelo Portable Sample 3700, e, outro da marca Sigma, modelo SD900, ambos programados para efetuar a coleta a cada uma hora, durante três dias consecutivos (Figura 3).

Todas as análises necessárias para o balanço de massa (DQO afluente, metano dissolvido, DQO efluente, DQO efluente filtrada, sulfato afluente, sulfato efluente, STV no lodo) foram realizadas em laboratório, sendo que toda etapa de preservação, transporte, armazenamento e análise das amostras foram executadas em conformidade com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). A vazão de esgoto foi obtida por meio de um sensor ultrassônico de nível instalado na calha Parshall da ETE.



(A)



(B)

Figura 3. Foto dos coletores automáticos utilizados para coleta de esgoto

O monitoramento foi conduzido durante três dias consecutivos, sendo que alguns parâmetros (DQO afluente, DQO efluente, DQO efluente filtrada e vazão de esgoto) foram amostrados 24 vezes ao dia, totalizando 288 dados amostrados. Outros parâmetros (sulfato afluente, sulfato efluente, metano dissolvido e STV no lodo), devido as suas peculiaridades foram amostrados 3 vezes ao dia, totalizando 36 dados amostrados.

Coleta e caracterização do biogás

Para amostragem da fase gasosa foram instalados na linha de saída do biogás para queima alguns equipamentos necessários para mensuração dos parâmetros pertinentes, sendo eles medidor de vazão de biogás por dispersão térmica e medidor da qualidade do biogás (Figura 4).

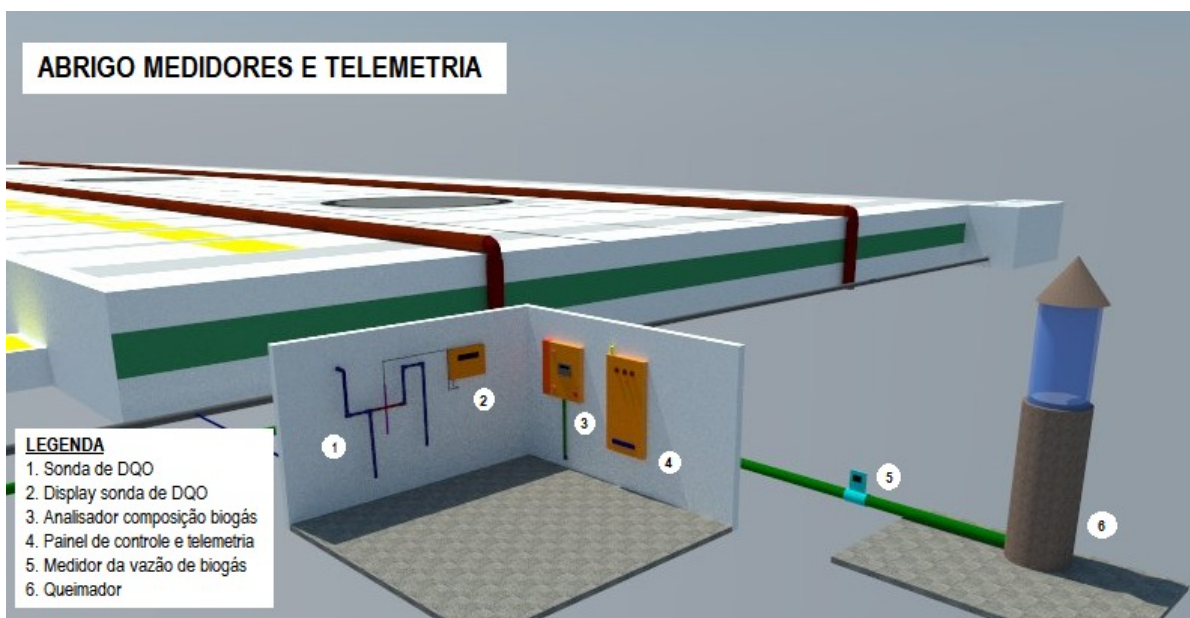


Figura 4. Representação esquemática da localização dos equipamentos para mensuração da fase gasosa

Para medição da vazão de biogás foi instalado na tubulação de saída do biogás para o queimador um medidor de vazão por dispersão térmica, modelo *Thermathel® TA2 Enhanced*, marca *Magnetrol*, com faixa de medição de $0,05$ a 200 N.m.s^{-1} e resolução de $\pm 1\%$. Para armazenamento dos dados, o medidor foi conectado a um *datalogger*, o qual foi configurado para memorizar a vazão a cada 30 segundos. Como o *datalogger* possui entrada USB, a coleta de dados foi realizada manualmente via conexão de um dispositivo compatível com a porta de entrada.

Para monitoramento do percentual de metano presente no biogás, utilizou-se um medidor fixo de gases, denominado BioControl, da marca Sewerin, modelo Multitec 545, o qual foi instalado na tubulação de saída do biogás dos seis reatores para o queimador. Esse equipamento mensura o percentual dos principais constituintes do biogás, sendo eles: metano, sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono e oxigênio. O analisador apresenta as informações mensuradas instantaneamente em seu visor, arquivando-as na memória interna. Os dados gravados podem ser acessados via conexão USB. Além disso, o equipamento foi conectado a um sistema de telemetria via *General Packet Radio Service* (GPRS), sendo que os dados foram transmitidos por um módulo de comunicação a cada 5 minutos, permanecendo armazenados em um banco de dados *online* (www.konvex-scada.com).



Figura 5. Foto dos analisadores de biogás: (A) vista frontal do medidor de vazão de biogás por dispersão térmica; (B) vista lateral do analisador de qualidade do biogás (Multitec 545)

Como as medições foram realizadas ao longo de três dias consecutivos, tem-se 8.640 dados amostrados para vazão de biogás e 864 dados amostrados para cada composto do biogás, totalizando 12.096 dados amostrados.

Para avaliação geral do balanço de massa, utilizou-se gráficos do tipo boxplot, com o intuito de apresentar uma estatística descritiva dos resultados obtidos ao longo do mês, ressaltando dados discrepantes (outliers), medianas, máximos, mínimos e quartis. Além disso, também foram utilizados gráficos de barras para exemplificar o percentual de cada parcela obtida para o balanço de massa. Além disso, em todos os testes e avaliações, considerou-se o nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o monitoramento dos reatores anaeróbios do tipo UASB modificado, determinou-se a estatística descritiva dos parâmetros utilizados para realização do balanço de massa, as quais encontram-se apresentadas na Tabela 1.

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
DQO afluente (mg.L ⁻¹)	759,64	787,00	250,56	1575,00	305,00
DQO efluente (mg.L ⁻¹)	448,68	446,00	103,14	742,00	252,00
DQO efluente filtrada (mg.L ⁻¹)	216,89	217,000	42,13	404,00	160,00
Sulfato afluente (mg.L ⁻¹)	47,65	45,68	27,45	85,00	14,86
Sulfato efluente (mg.L ⁻¹)	19,18	12,67	11,86	42,64	9,78
STV lodo (% m/m)	3,74	3,66	0,85	5,24	2,49
Metano dissolvido (mg.L ⁻¹)	13,46	13,87	2,26	17,68	10,59

Tabela 1. Reatores anaeróbios do tipo UASB modificado: estatística descritiva dos parâmetros utilizados no balanço de massa

Os dados referentes as parcelas do balanço de massa em termos de DQO, para os seis reatores anaeróbios do tipo UASB modificado, estão apresentados na Figura 6, por intermédio de gráficos Boxplot.

Em relação aos resultados da massa diária de DQO afluente ao reator, o valor médio obtido foi de $(21.470,80 \pm 12.249,82)$ kg.d⁻¹. A parcela referente à massa diária de DQO convertida em metano e presente no biogás foi, em média, de $(1.679,57 \pm 361,58)$ kg.d⁻¹. Da massa diária de DQO convertida em metano e perdida dissolvida no efluente, obteve-se valor médio de $(1.365,02 \pm 513,14)$ kg.d⁻¹. A massa diária de DQO não convertida e perdida com o efluente foi, em média de $(5.689,56 \pm 2.307,42)$ kg.d⁻¹. Considerando ainda a utilização da DQO pelas BRS na redução de sulfato, a massa diária de DQO consumida para tal fim, foi de $(920,14 \pm 522,46)$ kg.d⁻¹. A parcela correspondente a massa diária de DQO convertida em lodo e retida no sistema foi, em média, de $(241,04 \pm 69,94)$ kg.d⁻¹. Por fim, a massa diária de DQO convertida em lodo e perdida com efluente foi, em média, de $(6.389,06 \pm 3.464,74)$ kg.d⁻¹.

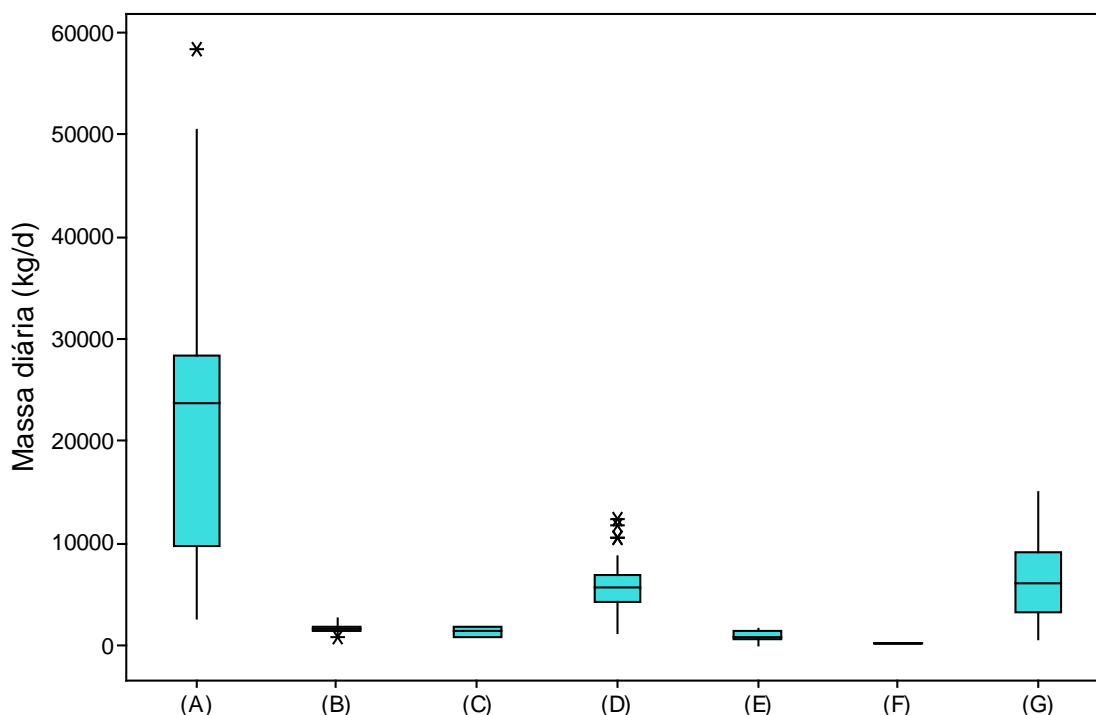


Figura 6. Balanço de massa: (A) Massa diária de DQO afluyente aos reatores; (B) Massa diária de DQO convertida em metano e presente no biogás; (C) Massa diária de DQO convertida em metano e dissolvida no efluente; (D) Massa diária de DQO não convertida; (E) Massa diária de DQO utilizada pelas BRS na redução de sulfato; (F) Massa diária de DQO convertida em lodo e retida no sistema; (G) Massa diária de DQO convertida em lodo e perdida com efluente

Os resultados dos percentuais de cada parcela do balanço de massa preliminar estão expressos na Figura 7. De modo geral, de toda DQO afluyente ao reator (100%), a maior parte foi convertida em lodo e perdida com o efluente, cerca de 29,76%. A DQO não convertida e perdida dissolvida com o efluente também apresentou um percentual significativo no balanço, equivalente a aproximadamente 26,50%. A conversão em biomassa retida no sistema e a utilização para redução de sulfato foram as parcelas menos significativas do balanço, correspondendo a 1,12% e 4,29%, respectivamente. A DQO convertida em metano e perdida dissolvida junto ao efluente representou uma pequena parcela (6,36%) e a convertida em metano presente no biogás foi igual a 7,82%.

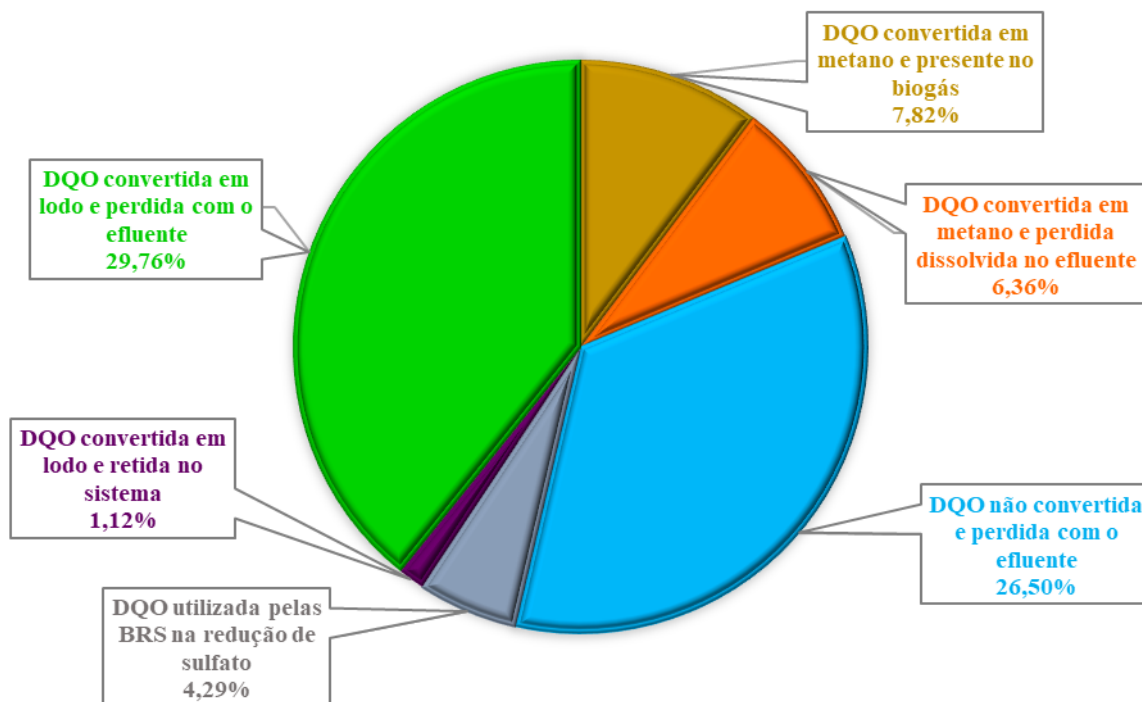


Figura 7. Resultados do balanço de massa preliminar em termos de DQO

Os baixos valores referentes à conversão em biomassa retida no sistema (1,12%) podem ser explicados pelo funcionamento e operação dos reatores anaeróbios do tipo UASB modificado, os quais provavelmente estão perdendo lodo junto ao efluente. Esse fato corrobora com as maiores parcelas do balanço de DQO convertida em lodo e perdida com o efluente (29,76%) e DQO não convertida e perdida com o efluente (26,50%). Além disso, os baixos valores para a parcela de redução de sulfato (4,29%) podem ser esclarecidos pela baixa concentração de sulfato afluente que a ETE recebe (14,86 a 85,00 mg.L⁻¹), conforme reportado por Lobato (2011).

Quanto aos valores obtidos para conversão em metano dissolvido (6,36%) e para conversão em metano presente no biogás (7,82%), os mesmos destoam do apresentado por Souza (2010), o qual afirma que essas parcelas foram as que mais se destacaram em seu balanço, para todas as condições de tempo de detenção hidráulico adotadas pelo autor, variando entre 16,7% e 17,7% e 24,6% e 29,7%, respectivamente. Tal fato, também deve-se provavelmente pelo funcionamento e operação dos reatores, uma vez que Souza (2010) faz uso de reatores anaeróbios do tipo UASB convencional e o estudo em questão faz uso de reatores anaeróbios do tipo UASB modificado, sendo que esse último, possui uma comunicação maior entre o separador trifásico e a área de decantação. Assim, o maior espaçamento que existe entre a lona sintética e o concreto acarreta em uma alteração na velocidade ascensional do esgoto tratado.

Nota-se que a soma das parcelas de conversão da matéria orgânica dentro sistema totalizam 75,85%, ou seja, parte da DQO afluente ao sistema acaba sendo convertida em parcelas que não foram mensuradas, como DQO convertida em metano e perdida para atmosfera, DQO convertida em metano e perdida com o gás residual, dentre outras.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao término deste trabalho, de acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que para o caso em questão, de reatores anaeróbios do tipo UASB modificado, as parcelas mais expressivas foram de DQO convertida em biomassa e perdida com o efluente (29,76%) e DQO não convertida e perdida solúvel com o efluente (26,50%), e as menos expressivas foram de DQO convertida em biomassa e retida no sistema (1,12%) e DQO utilizada para redução do sulfato (4,29%).

Além disso, os resultados obtidos com o experimento quando comparados com as informações de literatura, evidenciaram que o funcionamento e operação dos reatores adotados em cada ETE, influencia diretamente nas rotas de conversão da matéria orgânica dentro do sistema.

Como recomendações, sugere-se a realização de mais análises, visando avaliar o balanço de massa por um período mais longo de tempo, diminuindo-se assim, a incerteza de cada uma das parcelas mensuradas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e ao Projeto Brasil – Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS), pelo financiamento da pesquisa. A Universidade Federal do Paraná (UFPR), à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações de Tratamento de Esgoto Sustentáveis (INCT ETEs Sustentáveis) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio demonstrado. A Organização dos Estados Americanos (OEA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. New York: 21th Ed. 2012.
2. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. 380 p. (Princípios básicos do tratamento biológico de águas residuárias, v.5).
3. LOBATO, L. C. S. Aproveitamento Energético de Biogás Gerado em Reatores UASB Tratando Esgoto Doméstico. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais UFMG, Minas Gerais, 2011.
4. NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M.; LOPEZ-HERNANDEZ, J. E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor control and energy/resource recovery. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, v. 5, n. 1, p. 93-114, 2006.
5. SEGHEZZO, L. Anaerobic Treatment of domestic wastewater in subtropical regions. p. 133 Wageningen University. Wageningen, The Netherlands, 2004.
6. SOUZA, C. L. Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgoto doméstico em reatores UASB. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia da UFMG, 2010.
7. VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgoto. Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande, Brasil, Universidade Federal da Paraíba. 1994.